

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 918 153 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
26.05.1999 Patentblatt 1999/21

(21) Anmeldenummer: 97810903.1

(22) Anmeldetag: 24.11.1997

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: F02C 9/26, G10K 11/178,  
F02B 51/06, F23R 3/28,  
F23N 5/24, F23N 5/16,  
F23N 1/00

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: ABB RESEARCH LTD.  
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder:  
Die Erfindernennung liegt noch nicht vor

(74) Vertreter: Klein, Ernest et al  
Asea Brown Boveri AG  
Immaterialgüterrecht (TEI)  
Haselstrasse 16/699 I  
5401 Baden (CH)

### (54) Verfahren zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern

(57) Bei einem Verfahren zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern wird eine modulierte Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Brennstoff an der Kopfstufe eines Vormischbrenners durchgeführt.

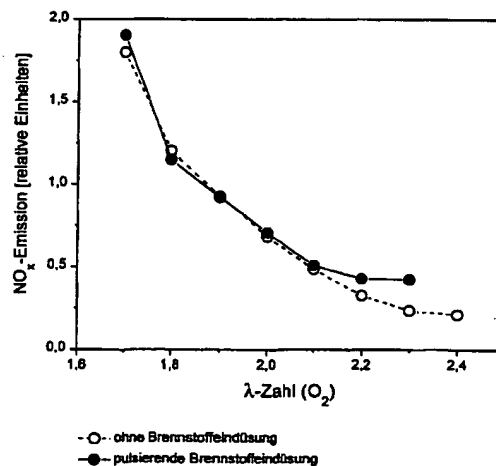


Fig. 4

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern, wobei eine modulierte Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Brennstoff an der Kopfstufe eines Vormischbrenners durchgeführt wird.

[0002] Es ist bekannt, daß in Brennkammern von Gasturbinen häufig unerwünschte thermoakustische Schwingungen auftreten. Mit dem Begriff "thermoakustische Schwingungen" werden sich gegenseitig aufschaukelnde thermische und akustische Störungen bezeichnet. Es können dabei hohe Schwingungsamplituden auftreten, die zu unerwünschten Effekten, wie etwa zu einer hohen mechanischen Belastung der Brennkammer, einer erhöhten  $\text{NO}_x$ -Emissionen durch eine inhomogene Verbrennung und sogar zu einem Erlöschen der Flamme führen können. Dies trifft insbesondere für Verbrennungssysteme mit geringer akustischer Dämpfung zu.

[0003] Bei herkömmlichen Brennkammern hat die in die Brennkammer einströmende Kühlluft eine bedeutende Funktion, da der Kühlluftfilm an der Brennkammerwand schalldämpfend wirkt und damit zur Verminderung von thermoakustischen Schwingungen beiträgt. Um niedrige  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu erzielen, wird in modernen Gasturbinen ein zunehmender Anteil der Luft durch die Brenner selbst geleitet, der Kühlluftstrom also reduziert. Durch die damit einhergehende geringere Schalldämpfung treten die eingangs angesprochenen, mit den unerwünschten Schwingungen verbundenen Probleme in solchen modernen Brennkammern demnach verstärkt auf.

Eine Möglichkeit der Schalldämpfung besteht im Ankoppeln von Helmholtz-Dämpfern in der Brennkammerhaube oder im Bereich der Kühlluftzuführung. Bei engen Platzverhältnissen, wie sie für moderne, kompakt gebaute Brennkammern typisch ist, kann die Unterbringung solcher Dämpfer jedoch Schwierigkeiten bereiten. Diese Methode ist daher mit einem großen konstruktiven Aufwand verbunden.

[0004] Daneben ist bekannt, daß die im Brenner durch strömungsmechanische Instabilitäten entstehenden Wirbel zu einer periodischen Wärmefreisetzung der Flamme des Brenners und damit zu Druckschwankungen führen können. Somit liegt eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Schwingungsneigung eines Brenners in der Stabilisierung der Flamme des Vormischbrenners. Dies kann durch Eindüsung von zusätzlichem Brennstoff durch die Kopfstufe, eine auf der Brennerachse liegende Düse für Pilot-Brennstoff, realisiert werden, was zu einer Anfettung der zentralen Flammstabilisierungszone führt. Diese Methode zur Verminderung der thermoakustischen Schwingungsamplituden ist allerdings mit dem Nachteil verbunden, daß die Eindüsung von Brennstoff an der Kopfstufe mit einer Erhöhung der Emission von  $\text{NO}_x$  einhergeht.

[0005] Zur Verdeutlichung des Zusammenhangs

wurde in Figur 1 die relative Druckamplitude und die relative  $\text{NO}_x$ -Emission gegen den Brennstoffmassenstrom durch die Kopfstufe aufgetragen. Wie aus Figur 1 deutlich zu ersehen ist, sinken bei einem zunehmenden Massenstrom des Kopfstufenbrennstoffes zwar die Pulsationen, die  $\text{NO}_x$ -Emissionen steigen aber stark an.

[0006] Durch Variation des Anteils des durch die Kopfstufe eingedüsten Brennstoffs am Gesamtbrennstoffmassenstrom kann ein optimaler Kopfstufenanteil für jeden denkbaren Gasturbinenbrenner gefunden werden. Bei diesem speziellen Brennstoffmassenstrom werden einerseits die Pulsationen ausreichend unterdrückt, andererseits sind die Emissionen noch nicht inakzeptabel angestiegen. Der optimale Kopfstufenanteil ist je nach verwendetem Brenner verschieden und muß jeweils experimentell ermittelt werden.

[0007] Unter Beibehaltung dieses für den verwendeten Gasturbinenbrenner optimalen Brennstoffmassenstroms durch die Kopfstufe des Brenners kann nun durch unterschiedliche Mengen an zugeführter Luft die  $\lambda$ -Zahl der Verbrennung variiert werden. Der  $\lambda$ -Wert ist ein Maß für das Verhältnis der in den Verbrennungsraum eingeführten zu der zur vollständigen Verbrennung theoretisch benötigten Luftmenge. Gasturbinenbrenner der in der vorliegenden Erfindung verwendeten Art werden in der Regel in einem Bereich von  $1.8 \leq \lambda \leq 2.2$  betrieben. Der zusätzliche Brennstoffmassenstrom durch die Kopfstufe erhöht den gesamten Brennstoffmassenstrom nur unwesentlich, so daß die  $\lambda$ -Zahl von dem zusätzlichen Massenstrom nicht beeinflußt wird.

[0008] In Figur 2 wurde die relative Druckamplitude der thermoakustischen Schwingungen sowie die relative  $\text{NO}_x$ -Emission gegen die  $\lambda$ -Zahl aufgetragen. Dabei werden zwei Fälle unterschieden, nämlich die Eindüsung einer konstanten Menge Brennstoff (hier 4.4% des Gesamtbrennstoffmassenstroms) in die Kopfstufe sowie der Fall ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung. Die zusätzliche Eindüsung einer konstanten Menge an Brennstoff in die Kopfstufe des Brenners führt zu einer deutlich verminderten Druckamplitude der thermoakustischen Schwingungen. So beträgt die Druckamplitude bei  $\lambda = 2.1$  nur 6% des Wertes ohne Brennstoffeindüsung.

[0009] Daneben ist aus Figur 2 aber auch zu ersehen, daß der Vorteil der verminderten Druckamplitude mit dem Nachteil einer erhöhten  $\text{NO}_x$ -Emission erkaufte wird. Durch die Eindüsung von zusätzlichem Brennstoff in die Kopfstufe des Brenners wird die  $\text{NO}_x$ -Emission für alle untersuchten  $\lambda$ -Werte erhöht. Am deutlichsten wird dies für einen  $\lambda$ -Wert von 2.2, bei dem die  $\text{NO}_x$ -Emission um 38% über dem Wert ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung liegt.

[0010] Hier setzt die Erfindung an. Es soll ein Verfahren zum Minimieren der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern geschaffen werden, wobei die Verringerung der Druckamplitude nahezu ohne Erhöhung der  $\text{NO}_x$ -Emission

erreicht wird. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren zur Minimierung der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in einer Gasturbine des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst.

[0011] Erfindungsgemäß erfolgt die Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Brennstoff in die Kopfstufe des Gasturbinenbrenners moduliert. Unter modulierter Eindüsung wird erfindungsgemäß jede zeitlich variierende Eindüsung von Brennstoff verstanden. Die Modulation kann erfindungsgemäß mit einer beliebigen Frequenz erfolgen. Bevorzugt erfolgt die Eindüsung mit einer Frequenz zwischen 0.3 Hz und 5 kHz, wobei der Bereich von 5 Hz bis 20 Hz besonders bevorzugt wird. Die Eindüsung kann hierbei phasenunabhängig von den Druckschwingungen in dem Verbrennungssystem erfolgen. Alternativ kann die Eindüsung so erfolgen, daß sie mit den Druckschwingungen in einer festen Phasenbeziehung steht. In diesem Fall wird die Phase der Druckschwingungen beispielsweise über ein Mikrophon in der Brennkammer bestimmt und diese Phaseninformation zur Steuerung der Eindüsung verwendet.

[0012] Die Menge des pro Zeiteinheit eingedüsten Brennstoffs kann dabei im Rahmen der vorliegenden Erfindung in beliebiger Weise variiert werden. Bevorzugt wird der Brennstoff in Form eines zeitlich begrenzten Pulses eingedüst und anschließend für eine bestimmte Zeit kein Brennstoff zugegeben. Bezeichnet man den Zeitraum der Brennstoffeindüsung mit  $t_{\text{Zugabe}}$  und den Zeitraum ohne Brennstoffeindüsung mit  $t_0$ , so ergibt sich die Periodendauer der Modulation der Brennstoffeindüsung zu  $\tau = t_{\text{Zugabe}} + t_0$  und die Frequenz zu  $\nu = 1/\tau = 1/(t_{\text{Zugabe}} + t_0)$ .

[0013] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird mit dem Begriff "duty cycle" das Verhältnis von  $t_{\text{Zugabe}}$  zu  $\tau$  in Prozent ausgedrückt. Bei einem duty cycle von 50% ist somit der Zeitraum der zusätzlichen Brennstoffeindüsung gleich dem Zeitraum, in dem kein zusätzlicher Brennstoff eingedüst wird. Die Zugabe einer konstanten Menge an Brennstoff entspricht einem duty cycle von 100%.

[0014] Die Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe des Brenners erfolgt erfindungsgemäß mit einem duty cycle kleiner 100%. Bevorzugt wird der Bereich  $1\% \leq \text{duty cycle} \leq 50\%$ .

[0015] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 eine Auftragung der relativen Druckamplitude und der relativen  $\text{NO}_x$ -Emission gegen den Brennstoffmassenstrom durch die Kopfstufe;

Fig. 2 eine Auftragung der relativen Druckamplitude und der relativen  $\text{NO}_x$ -Emission gegen die  $\lambda$ -Zahl für einen Brenner ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung in die Kopfstufe bzw. für einen Brenner mit Eindüsung einer

konstanten Menge Brennstoff in die Kopfstufe;

Fig. 3 eine Auftragung der relativen Druckamplitude gegen die  $\lambda$ -Zahl für einen Brenner ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung in die Kopfstufe, mit Eindüsung einer konstanten Menge Brennstoff bzw. mit einer modulierten Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe;

Fig. 4 eine Auftragung der  $\text{NO}_x$ -Emission gegen die  $\lambda$ -Zahl für einen Brenner ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung in die Kopfstufe bzw. für einen Brenner mit modulierter Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe;

Fig. 5 eine Auftragung der  $\text{NO}_x$ -Emission gegen die  $\lambda$ -Zahl für einen Brenner mit Eindüsung einer konstanten Menge Brennstoff in die Kopfstufe bzw. für einen Brenner mit modulierter Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe, wobei die  $\text{NO}_x$ -Emission auf die Emission ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung (100%) bezogen ist.

[0016] In Figur 3 wurde die relative Druckamplitude gegen die  $\lambda$ -Zahl für einen Brenner aufgetragen, der auf drei verschiedene Arten betrieben wurde, und zwar ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung in die Kopfstufe, mit Eindüsung einer konstanten Menge Brennstoff von 4.4% des Gesamtbrennstoffmassenstroms bzw. mit einer modulierten Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe. Die Modulation wurde dabei mit einer Frequenz von 12 Hz durchgeführt. Während eines Zeitraumes von 8.3 ms wurde ein Puls des Brennstoffs eingedüst, während der folgenden 75 ms erfolgte keine Brennstoffzugabe. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Brennstoffzugabe von 0.44% des Gesamtbrennstoffmassenstroms und ein duty cycle von 10%.

[0017] In Figur 3 ist deutlich zu erkennen, daß die Druckamplitude der thermoakustischen Schwingungen sowohl bei Eindüsung einer konstanten Menge an Brennstoff in die Kopfstufe als auch bei der gepulsten Eindüsung des Brennstoffs stark vermindert werden. Für beide verschiedenen Arten der Eindüsung ergeben sich ungefähr gleiche Werte der Druckamplituden.

[0018] Figur 4 zeigt eine Auftragung der  $\text{NO}_x$ -Emission gegen die  $\lambda$ -Zahl für einen Brenner ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung in die Kopfstufe bzw. für einen Brenner mit modulierter Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe. Die Modulation wurde dabei in der oben beschriebenen Art mit einer Frequenz von 12 Hz durchgeführt. Wiederum wurde während eines Zeitraumes von 8.3 ms ein Puls des Brennstoffs eingedüst, während in den folgenden 75 ms keine Brennstoffzugabe erfolgte. Die durchschnittliche Brennstoffzugabe beträgt somit 0.44% des Gesamtbrennstoffmassenstrom, und der duty cycle beträgt 10%.

[0019] Aus Figur 4 ist zu ersehen, daß die gepulste Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe des Gasturbinenbrenners über einen weiten Bereich von  $1.7 \leq \lambda \leq 2.1$  zu keiner signifikanten Erhöhung der  $\text{NO}_x$ -Emission führt. Die Abweichung der Werte für  $\lambda > 2.1$  ist auf den für diese  $\lambda$ -Werte nicht optimal gewählten Brennstoffmassenstrom durch die Kopfstufe zurückzuführen.

[0020] Zur Verdeutlichung des überraschenden Effekts der vorliegenden Erfindung wurde in Figur 5 die  $\text{NO}_x$ -Emission gegen die  $\lambda$ -Zahl aufgetragen, wobei nur der für Gasturbinenbrenner relevante Bereich der  $\lambda$ -Zahl zwischen 1.8 und 2.2 berücksichtigt wurde. Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen wurden für einen Brenner mit Eindüsung eines konstanten Anteils von 4.4% des Gesamtbrennstoffmassenstroms in die Kopfstufe bzw. für einen Brenner mit modulierter Eindüsung von Brennstoff in die Kopfstufe aufgetragen. Die Modulation der Brennstoffeindüsung erfolgte dabei in der oben beschriebenen Weise. Die Werte der  $\text{NO}_x$ -Emission wurden in der Auftragung gemäß Figur 5 auf die Emissionswerte ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung, die gleich 100% gesetzt wurden, bezogen.

[0021] Aus Figur 5 ist deutlich zu entnehmen, daß eine pulsierende Brennstoffeindüsung im Vergleich zur Eindüsung einer konstanten Menge an Brennstoff zu einer Verringerung der  $\text{NO}_x$ -Emission über einen Bereich von  $1.8 \leq \lambda \leq 2.2$ , also über den gesamten für Gasturbinenbrenner relevanten Bereich, führt. Die Abnahme beträgt dabei bis zu 25%-Punkte ( $\lambda = 1.8$ ) bezogen auf die  $\text{NO}_x$ -Emission ohne Brennstoffeindüsung.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Minimierung der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in einer Gasturbine, dadurch gekennzeichnet, daß die Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Brennstoff in die Kopfstufe moduliert erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine vollständige Modulationsperiode aus der Eindüsung des Brennstoffs in Form eines zeitlich begrenzten Pulses und aus der nachfolgend fehlenden Zugabe von Brennstoff besteht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Frequenz der Modulation zwischen 0,3 Hz und 5 kHz liegt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Frequenz der Modulation zwischen 5 Hz und 20 Hz liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der duty cycle weniger als 100% beträgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Bedingung  $1\% \leq \text{duty cycle} \leq 50\%$  erfüllt ist.

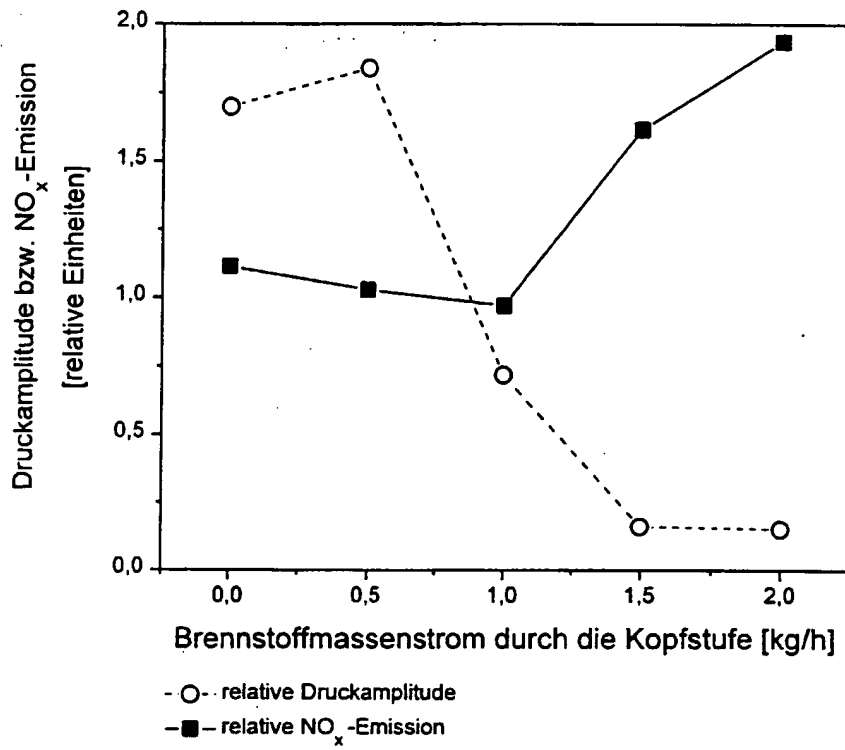


Fig. 1

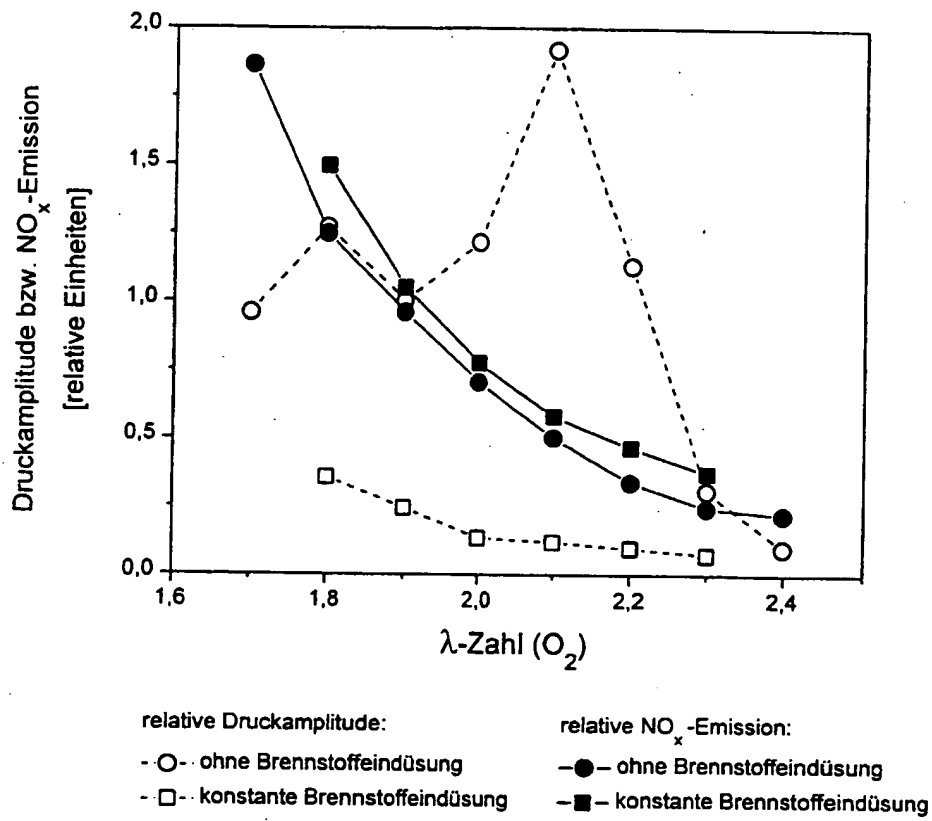


Fig. 2

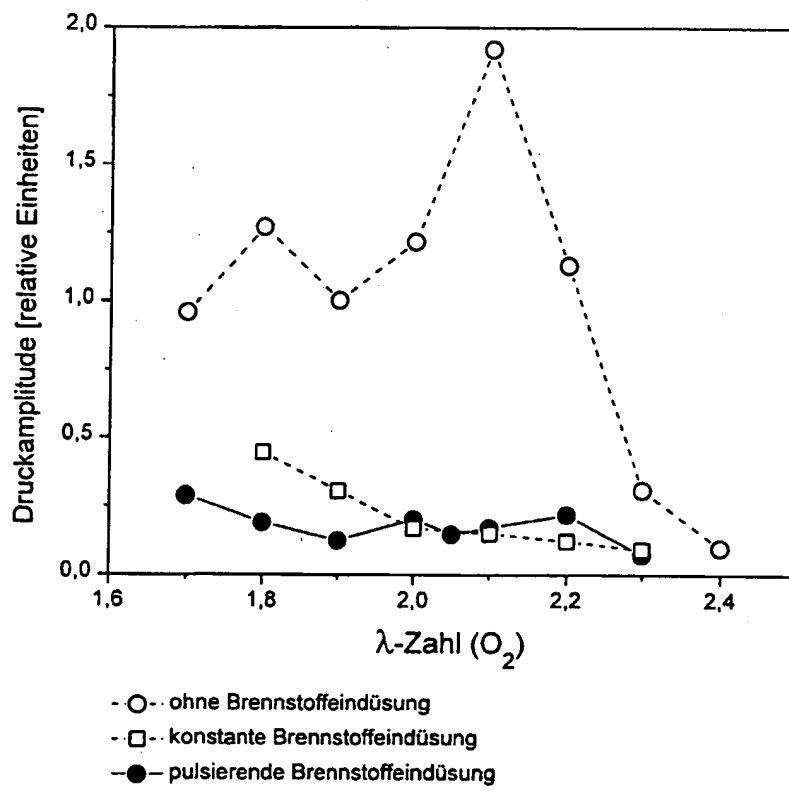


Fig. 3

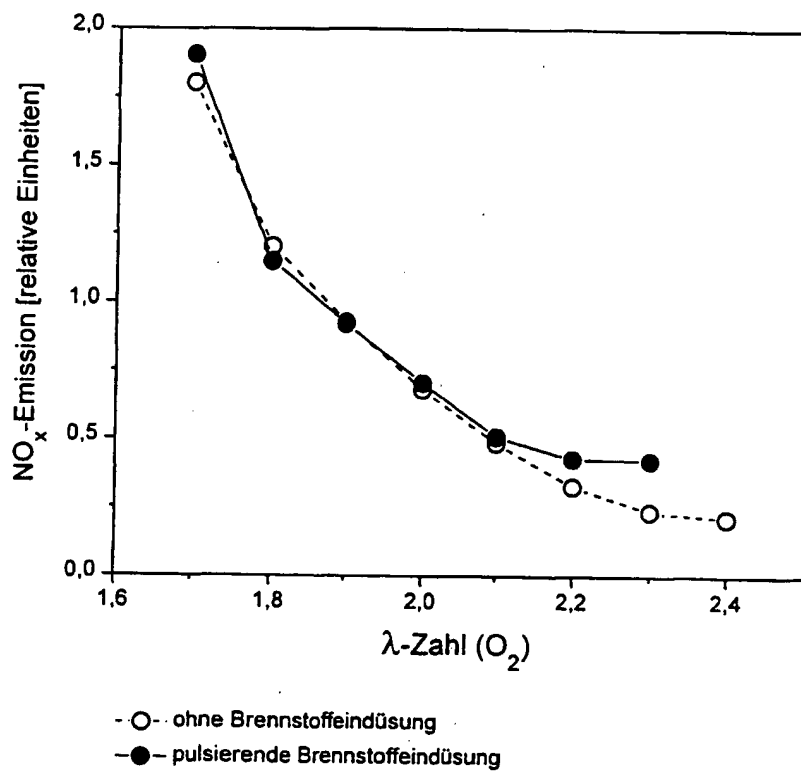


Fig. 4



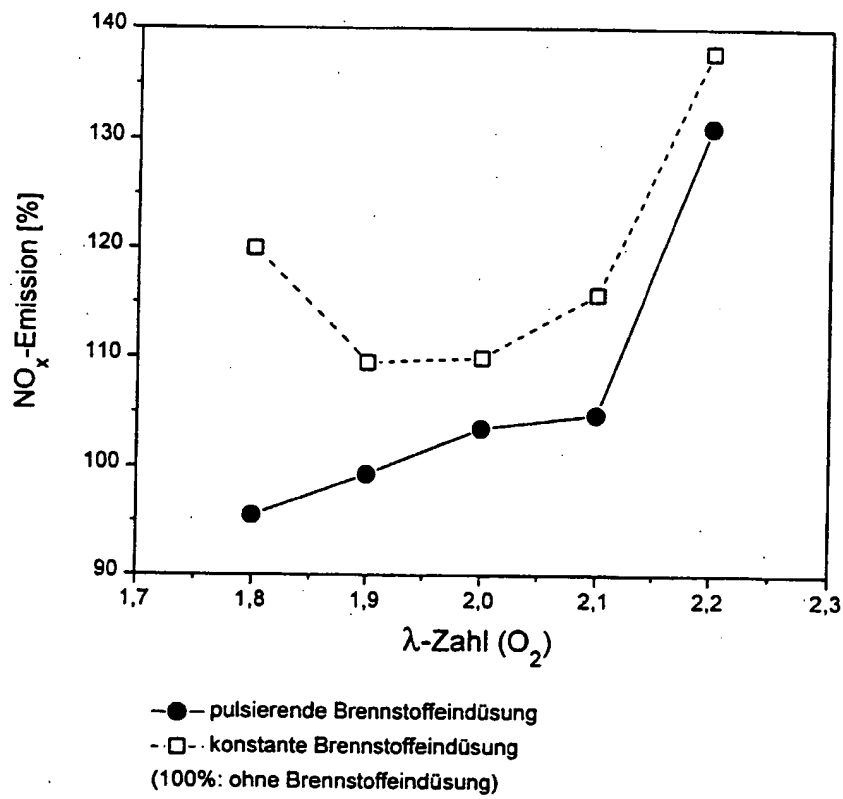


Fig. 5



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 97 81 0903

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	US 4 557 106 A (HECKL MARIA A ET AL) 10. Dezember 1985 * Spalte 2, Zeile 16 - Zeile 30 * * Spalte 5, Zeile 52 - Spalte 6, Zeile 50 *	1,2	F02C9/26 G10K11/178 F02B51/06 F23R3/28 F23N5/24 F23N5/16 F23N1/00
X	US 5 428 951 A (WILSON KENNETH ET AL) 4. Juli 1995 * Spalte 2, Zeile 29 - Spalte 2, Zeile 53; Abbildungen * * Spalte 8, Zeile 57 - Spalte 8, Zeile 69 *	1-4	
X	GB 1 495 015 A (BRITISH PETROLEUM CO) 14. Dezember 1977 * das ganze Dokument *	1-5	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F02C G10K F02B F23R F23N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 9. Juni 1998	Prüfer Raspo, F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EP 0 918 153 A1

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 97 81 0903

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Daten des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr

09-06-1998

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4557106 A	10-12-1985	DE 3439903 A	09-05-1985
		FR 2554170 A	03-05-1985
		GB 2165964 A.B	23-04-1986
		JP 1788990 C	10-09-1993
		JP 4072982 B	19-11-1992
		JP 60111027 A	17-06-1985
US 5428951 A	04-07-1995	KEINE	
GB 1495015 A	14-12-1977	KEINE	

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts. Nr.12/82